



EPO-BERLIN

16-05-2003

REC'D 25 JUN 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 17 285.4
Anmeldetag: 12. April 2002
Anmelder/Inhaber: Coreta GmbH, Dresden/DE
Bezeichnung: Elektromechanischer Energie-
wandler
IPC: H 02 K 21/38

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 08. Mai 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Beschreibung

Stand der Technik und Nachteile

5 Die Miniaturisierung von elektrodynamischen Wandlern erfordert die Beachtung besonderer Gesichtspunkte. Prinzipien und Herstellungsverfahren größerer elektrischer Maschinen lassen sich nicht ohne weiteres bei sehr kleinen Abmessungen anwenden.

10 Häufig werden für miniaturisierte Motoren Luftspaltspulen verwendet. Die zur Erzeugung der Kraftwirkung notwendigen Stromleiter sind dabei im Luftspalt zwischen den flüssleitenden Elementen der magnetischen Kreise untergebracht. US-PS 3796039, CH-570 648, JP 01-009372,
15 DE 4205985 C2 und DE 19902371 A1 beschreiben beispielhaft die Verwendung von Luftspaltspulen. Unabhängig davon, ob gewickelte Drahtspulen oder mit mikrotechnischen Verfahren hergestellte Spulen zum Einsatz kommen, haben diese den Nachteil, dass sie aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung
20 einen relativ großen Luftspalt erfordern, der die wirksame magnetische Flussdichte und somit die Leistungsdichte des Energiewandlers verringert. Diese Wandlerarten erfordern einen hohen Fertigungsaufwand, insbesondere zur Herstellung der Spulenanordnung.

25 Einen einfacheren Aufbau, insbesondere für miniaturisierte Wandler, besitzen einphasige Schrittmotoren. In US 4277704 ist eine Ausführungsform beschrieben. Diese hat einen asymmetrischen Aufbau und besitzt unabhängig von der Polzahl eine einzige konzentrierte Spule, die auf ein einteiliges Jochblech aufgebracht ist. Die Flussführung zum
30 permanentmagnetischen Rotor erfolgt über Polschenkel. Nachteilig sind die schlechte Volumenausnutzung, der geringe Wirkungsgrad sowie die schwierige bauliche Integration in technische Geräte aufgrund der Form des Energiewandlers. Diese Art elektrodynamischer Wandler wird
35

in US 6120177 als Uhrenantrieb und als Generator zur Erzeugung elektrischer Energie aus mechanischer Bewegungsenergie verwendet.

5 Eine Erhöhung der Leistungsdichte läßt sich durch Flusskonzentration mittels weichmagnetischer Elemente erreichen. DE 3135385 C2 beschreibt beispielhaft die Verwendung eines Statorblechpaketes, welches Polschenkel bildet und gleichzeitig den wirksamen Luftspalt verringert. Die Polschenkel tragen Spulen. Der Rotor ist als Außenläufer ausgebildet und trägt einen alternierend radial polarisierten Magnetring mit zylindrischem Rückschluss. 10 Nachteilig ist dabei das große Trägheitsmoment. Die verteilten Spulen schränken die Miniaturisierbarkeit ein und erhöhen den Fertigungsaufwand.

15 Flusskonzentration und bessere Miniaturisierbarkeit verbinden Wandler vom Klauenpoltyp wie z.B. in DE 69613207 T2 und US 4644246 dargestellt. Diese besitzen wechselnd gezahnte, um eine Ringspule gelegte Statorjoche und abhängig von der Polzahl des Stators magnetisierte 20 Permanentmagnete im Rotor. Hochpolige Statoranordnungen lassen sich mit einer einzigen Spule realisieren. Der hohe Streufluss zwischen den wechselseitig umgelegten Statorzähnen verringert die Leistungsdichte und den Wirkungsgrad solcher Wandler.

25 DE 2560231 C2 offenbart einen Gleichstrommotor, in den zur Drehzahlregelung ein Tachogenerator integriert ist. Der Tachogenerator besteht aus einem Läufer, einem weichmagnetischen Rückschlussteil, einem Ringmagneten, einer Ringspule im Rückschlussteil und einer 30 Kompensationsspule außerhalb des Rückschlussteils. Der Läufer des Tachogenerators ist auf der Motorwelle befestigt und besteht aus einer am Umfang gezahnten weichmagnetischen Scheibe, einer weichmagnetischen Buchse und einem Mitnehmer. Der wechselnd radial magnetisierte Ringmagnet 35 ist in das Rückschlussteil eingelassen. Gleichnamige Pole

des Magneten stehen den Zähnen des Läufers radial gegenüber. Der bei Rotation wechselnde magnetische Fluss ist mit der Meßspule verkettet und induziert dort eine der Drehzahl proportionale Spannung. Die Flussführung erfolgt vom Ringmagneten über das Rückschlussteil, über einen inneren radialen Luftspalt zur Buchse, über die gezahnte Scheibe und über einen äußeren radialen Luftspalt zurück zum Magneten. Wegen möglicher Montagetoleranzen aufgrund des gewählten Aufbaus, müssen die Luftspalte relativ groß gewählt werden. Für eine miniaturisierte Bauweise ist der radiale Luftspalt an der Buchse ungeeignet. Gleichzeitig ist die Integration einer unabhängigen Lagerung des Rotors erschwert. Zu dem ist bei einer Miniaturisierung mit einer erheblichen Zunahme von Streuflüssen zu rechnen und die gleichzeitige Wirkung der magnetischen Kräfte an allen Zähnen erzeugt im Zusammenhang mit der Miniaturisierung ein nicht zu vernachlässigendes Rastmoment. Da die Ausgangsleistung von Tachogeneratoren bestimmungsgemäß sehr gering ist und ausreichend Konstruktionsraum zur Verfügung steht, sind dort Anordnungen entsprechend DE 2560231 C2 gut einsetzbar.

Alle genannten Beispiele eignen sich nur beschränkt für eine Realisierung kleiner Baugrößen bei hoher Leistungsdichte.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen elektromechanischen Energiewandler mit feststehender Spulenordnung und hohem energiewandlungsrelevantem Drehmoment zu realisieren, der bereits bei geringer Drehzahl eine hohe Energiewandlungsdichte aufweist, einen einfachen sowie robusten Aufbau besitzt und sich auch einfach in kleinen Baugrößen herstellen läßt.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch einen elektromechanischen Energiewandler nach Anspruch 1 gelöst.

Bei der Erfindung handelt es sich um einen Energiewandler, der sowohl zur Wandlung mechanischer in elektrische Energie als auch zur Wandlung elektrischer in mechanische Energie geeignet ist und bei dem der mechanische Energieaustausch zur Umgebung über einen Rotor nach Anspruch 1 und der elektrische Energieaustausch zur Umgebung über die Anschlüsse einer Flachspule nach Anspruch 1 stattfindet.

Im Energiewandler nach Anspruch 1 erfolgt die für eine Energiewandlung notwendige Magnetflussänderung und ihr Zusammenwirken mit einer Spule dem Prinzip nach in analoger Weise wie in DE 25 60 231 C2. Ein Energiewandler nach Anspruch 1 ist jedoch konstruktiv vielseitiger, wesentlich kompakter, kleiner und deutlich leistungstärker sowie als eigenständiges Gerät realisierbar. Von zentraler Bedeutung - insbesondere für eine Miniaturisierung - sind die konstruktiven Besonderheiten in den zentrumsnahen sowie axial angrenzenden Bereichen des Energiewandlers. Daher wird nach Anspruch 1 eine Kernzone als der Raum definiert, der bei der axialen Projektion des Flachspuleninnendurchmessers eingeschlossen wird.

Unter einer Flachspule sei in dieser Schrift eine Spule verstanden, bei der das Verhältnis von Spulenhöhe zu Spulenaußendurchmesser kleiner als Eins ist. Die nach Anspruch 1 feststehende Anordnung der Flachspule hat den Vorteil, dass zur Kontaktierung der Flachspule eine Festverdrahtung möglich ist und auf eine Schleiferanordnung verzichtet werden kann. Die konzentrische Anordnung um die Rotationsachse des Rotors, die gleichzeitig eine Systemachse für den Energiewandler darstellt, und die Ausbildung als Flachspule setzen konstruktiv den Zwang zu einer rotations-symmetrischen, bevorzugt flachen und raumeffizienten Gestaltung des Energiewandlers.

Die entsprechend Anspruch 1 um die Flachspule angeordneten Magnetflusselemente und Dauermagnetelemente umhüllen die Flachspule bis auf funktionell notwendige Luftspalte vollständig, wobei der Begriff "Luftspalt" hier generell auf einen magnetisch nicht aktiven Raum bezogen wird und damit auch mit unmagnetischen Feststoffen gefüllte Bereiche einschließt. Die Luftspalte sind stets konzentrisch um die Rotationsachse des Energiewandlers angeordnet und werden daher weiterhin als Ringluftspalte bezeichnet. Über die Magnetflusselemente ergeben sich bei voller Polüberdeckung axial-radial orientierte Magnetkreise. Von gleichpoligen Dauermagneten ausgehende Feldlinien verlaufen dann in einer geschlossenen axial-radialen Bahn um und durch die Flachspule, auf den Stirnseiten in radialer sowie außenseitig und durch das Zentrum hindurch in axialer Richtung, und umschlingen dabei sämtliche Spulenwindungen vollständig.

Ein weiterer Vorteil des elektromechanischen Wandlers nach Anspruch 1 besteht darin, dass neben der Flachspule auch die Dauermagnetelemente - als Magnetring - feststehend und rotationssymmetrisch angeordnet sind. Die Dauermagnetelemente des Magnetringes können aus einzelnen Dauermagneten oder aus Dauermagneten, die einseitig oder beidseitig mit Polschuhen aus weichmagnetischem Material versehen sind, bestehen. Vorteilhaft ist auch die Ausbildung als geschlossener Magnetring aus einem Stück - etwa als gepreßter, spritzgegossener oder gesinterter Ring, der dann sektoriell mit alternierender Polung aufmagnetisiert wird. Angeordnet zwischen anderen weichmagnetischen Magnetflusselementen unterstützt die axiale, radiale oder axial-radiale Polausrichtung den in dem Energiewandler angestrebten axial-radialen Feldlinienverlauf um und durch die Flachspule. Andererseits kann ein solcher Feldlinienverlauf gut mit durchmagnetisierten, d.h. von Fläche zu Fläche durch das

Volumen hindurch polarisierten Dauermagneten erreicht werden. Damit lassen sich konstruktiv sehr vorteilhaft kurze Feldlinienstrecken in den Dauermagneten und eine hohe Volumeneffizienz sowie Materialausnutzung der Dauermagneten realisieren.

Nach Anspruch 1 weist der Energiewandler Magnetflusselemente auf, die als Zahnelemente ausgebildet sind und die rotationssymmetrisch in konzentrischer Anordnung zur Rotationsachse des Rotors einen weichmagnetischen Zahnelementring bilden. Dieser Zahnelementring ist gleichzeitig Bestandteil des Rotors. Zwischen den Zahnelementen befinden sich Zahnelementlücken, das heißt Bereiche, in denen sich kein weichmagnetisches Material befindet. Magnetring und Zahnelementring sind coaxial angeordnet und nur durch einen engen Ringluftspalt voneinander getrennt. Je nach Position der Zahnelemente schließen sich die von den Dauermagneten ausgehenden Feldlinien - von konstruktiv bedingten und unvermeidlichen, parasitären magnetischen Kurzschlüsse abgesehen - im wesentlichen über zwei Wege. Ein kurzer Weg geht über Zahnelemente, Nachbardauermagnetelemente und von dort über Magnetflusselemente, die als Rückschluss wirken. Daneben existiert ein langer Weg über die großen axial-radial orientierten Magnetkreise, die über die Zahnelemente und weitere Magnetflusselemente durch das Zentrum der Flachspule verlaufen. Die Zahnelementlücken sind wichtig, damit der magnetische Fluss über die Zahnelemente überhaupt durch das Spulenzentrum geleitet werden kann und nicht vorher kurzgeschlossen wird. Die Notwendigkeit genügend großer Zahnelementlücken ist eines der Haupthindernisse bei der Miniaturisierung. Nur Feldlinien, die in einem axial-radial orientierten Magnetkreis die Spule umfließen, sind für eine effektive elektromagnetische Kopplung von Dauermagneten und Flachspule und damit für eine Energiewandlung relevant. Steht ein Zahnelement einem

Dauermagnetelement frontal gegenüber, ist der magnetische Fluss über den langen Weg, das heißt, im axial-radial orientierten Magnetkreis durch die Flachspule maximal. Befindet sich dagegen ein Zahnelement zwischen zwei Dauermagnetelementen, wird der kurze Weg maximal genutzt und der Fluss durch die Flachspule ist null.

Der Flussverlauf innerhalb eines Magnetkreises ist von seiner Gestalt, das heißt, auch von der relativen Position seiner Magnetflusselemente abhängig und im Falle veränderlicher Reluktanz mit einer entsprechenden Kraftwirkung zwischen den Magnetflusselementen verbunden. Indem nach Anspruch 1, der Zahnelementring mit dem Rotor verbunden - und damit beweglich - angeordnet wird, ist der Fluss in den durch die Flachspule greifenden, großen axial-radial orientierten Magnetkreisen über eine Drehung des Rotors veränderbar, wodurch eine Umwandlung mechanischer über magnetische in elektrische Energie und umgekehrt praktisch möglich wird. Wenn die Anzahl der Zahnelemente und der Polpaare des Magnetrings gleich groß ist und die Zahnelemente und Dauermagnetelemente gleichmäßig am Umfang verteilt sind, liegt bei frontaler Position von Zahnelementen und Dauermagnetelementen stets ein maximaler gleichgerichteter Gesamtfluss der axial-radial orientierten Magnetkreise vor. Bei Rotation kann so abwechselnd ein maximaler magnetische Fluss aller Dauermagneten der einen Polung und danach einer der anderen Polung durch die Flachspule geleitet werden. Hieraus resultieren im Falle einer mechanoelektrischen Energiewandlung bei Bewegung des Rotors maximale Gradienten für die magnetische Flussänderung durch die Flachspule. Im Falle einer elektromechanischen Energiewandlung führt der verkettete Fluss der Spule zu einer Feldverdrängung und zu einer Momentenwirkung auf den Rotor.

Der Ringluftspalt zwischen Magnetring und Zahnelementen nach Anspruch 1 ist wegen der radialen, axialen oder axial-radialen Anordnung sehr eng realisierbar. Damit ergeben sich sehr günstige Arbeitspunkte für die Permanentmagnete, womit eine wesentliche Voraussetzung für eine effektive Energiewandlung bei geringen Drehzahlen erfüllt ist.

Der unterschiedliche Vorzugsverlauf der magnetischen Feldlinien in Abhängigkeit von der gegenseitigen Zahnelement-zu-Dauermagnetelement-Lage, entlang des kurzen Weges oder über den langen axial-radialen Weg, bewirkt Rastmomente in entsprechenden Rotorpositionen. Es ist möglich, durch eine Optimierung von Zahnelementbreite und Zahnelementgestalt, die entsprechenden Kräfte hinsichtlich ihres Einflusses auf ein Drehmoment gegeneinander wirken zu lassen und so die Einzelrastmomente sowie das Gesamtrastmoment zu beeinflussen, das heißt, auch zu minimieren. Insbesondere können durch gekrümmte Formen der Zahnelemente, etwa Sichelformen, sowohl Rastmomente als auch mögliche Streuflüsse reduziert werden.

Für die Effizienz des Energiewandlers ist es von Vorteil, wenn die Kernzone möglichst klein ist, das heißt, die Flachspule einen möglichst geringen Innendurchmesser hat, um viele niederohmige Windungen aufnehmen zu können, und wenn der Magnetring einen möglichst großen Innendurchmesser aufweist, um einen großen wirksamen Magnetquerschnitt anordnen zu können, eine hohe Polzahl zu realisieren, eine hohe Umfangsgeschwindigkeit am Rotorumfang zum Zwecke hoher Magnetflussänderungen zu erzielen und um parasitäre magnetische Kurzschlüsse aufgrund räumlicher Enge zu minimieren. Zudem können bei einem großen Abstand von Kernzone und peripherem Ringluftspalt die Zahnelementlücken gegebenenfalls größer gestaltet oder tiefer in die zentrale Richtung gezogen und somit magnetische Streuflüsse vermindert werden. Ein großer Außendurchmesser des

Magnetringes ist über die Anordnung des Ringluftspaltes zwischen Zahnelementring und Magnetring in einem peripheren Bereich außerhalb der Kernzone nach Anspruch 1 leicht zu realisieren. Dies gilt ebenso für andere Energiewandler, etwa dem Tachogenerator in DE 2560231 C2.

Darüber hinaus ergibt sich aus Anspruch 1 die Möglichkeit der Realisierung geringer Flachspuleninnendurchmesser, was einen besonderen Vorteil darstellt. Generell sind bei Energiewandlern der hier beschriebenen Art mindestens zwei Ringluftspalte erforderlich, um einen Rotor in dem feststehend angeordneten Teil eines Energiewandlers der hier beschriebenen Art frei bewegen zu können. Anspruch 1 erlaubt die beiden prinzipiellen Konstruktionsvarianten: Kernzone ohne und Kernzone mit Ringluftspalt. Im ersten Fall sind beide Ringluftspalte außerhalb der Kernzone angeordnet und ein entsprechendes, zur Rotorscheibe gehörendes Magnetflusselement umschließt die Flachspule von innen durch die Kernzone hindurch. Der Durchmesser dieses Magnetflusselementes kann soweit minimiert werden, dass gerade noch ein Magnetfluss im magnetisch ungesättigten Bereich gewährleistet wird. Entsprechend gering läßt sich damit auch der Innendurchmesser einer Flachspule gestalten. Im zweiten Fall befindet sich in der Kernzone eine Trennstelle - der Ringluftspalt - zwischen Rotor und feststehenden Magnetflusselementen. Hier ist neben der Magnetflussfunktion eine Führungs- bzw. Lagerfunktion für den Rotor zu erfüllen. Befinden sich mehrere Ringluftspalte innerhalb der Kernzone, muß nach Anspruch 1 mindestens ein Ringluftspalt axial zwischen Rotorscheibe und einem feststehendem Magnetflusselement angeordnet sein, wobei als Ringluftspalt auch der konstruktiv separat gelegene Abschnitt eines größer ausgebildeten Ringluftspaltes - etwa aus einem radialen und einem axialen Teil bestehend - angesehen wird. Über diesen axialen Ringluftspalt kann direkt der magnetische Fluss zwischen Rotorscheibe und dem

festangeordneten Magnetflusselement stattfinden. Dies erfolgt bei Verwendung einer nichtmagnetischen Rotorwelle ausschließlich in einem Bereich außerhalb der Rotorwelle. Da die Querschnittsfläche einer Rotorwelle bei üblichen Konstruktionen ohnehin klein ist im Vergleich zur Luftspaltfläche zwischen Rotor und feststehendem Magnetflusselement, würde auch bei weichmagnetischen Rotorwellen der magnetische Fluss bevorzugt über den axialen Ringluftspalt und nicht über den dann gleichfalls - konstruktiv bedingt - bestehenden radialen Ringluftspalt erfolgen. Mit dem axialen Ringluftspalt ist konstruktiv leicht eine Lagerung nach Anspruch 2 integrierbar. Die Kombination der magnetischen Flussleitfunktion mit der Lagerfunktion ergibt eine Raumeinsparung, die besonders in Hinblick auf eine Miniaturisierung von besonderer Bedeutung ist. Insgesamt ermöglichen axiale Ringluftspalte optimale konstruktive Freiheiten bei der Werkstoffauswahl und Dimensionierung zur Gewährleistung aller Lager-, Führungs- sowie Magnetflussfunktionen innerhalb der Kernzone und zur Minimierung der Kernzone selbst, was letztlich kleine Flachspuleninnendurchmesser und damit hohe Energiewandlungsdichten ermöglicht. In DE 25 60 231 C1 ist eine zusätzlichen Raum füllende Lagerung noch nicht integriert und die Feldlinienführung erfolgt dagegen lediglich bzw. bevorzugt über einen radialen Luftspalt zwischen Rotor und festangeordneten Magnetflusselementen. Bei geringen Rotorwellendurchmessern - die sich bei kleinen Konstruktionen zwangsläufig ergeben - ist daher leicht eine magnetische Sättigung möglich. Dieser kann nur durch eine entsprechend starke Rotorwelle - mit Nachteilen für die Laufeigenschaften - oder einer von vorn herein reduzierten magnetischen Feldenergie - mit Nachteilen für die Energiewandlungsdichte - begegnet werden. Zusätzlich müssen eine Lagerfunktion erfüllt und genügend Luftspaltfläche für einen ausreichenden magnetischen Fluss bereit stehen. Letzteres ist nur über einen entsprechend großen

5 Rotorwellendurchmesser und einen entsprechend langen radialen Ringluftspalt realisierbar. Neben dem größeren Raumbedarf ergeben sich so auch höhere Reibmomente infolge der großen Lagerflächen bei einer in den Wandler integrierten Lagerung des Rotors. Die gemeinsame Realisierung aller Lager- und Magnetflussfunktion erfordert daher bei radialen Luftspaltkonstruktionen in radialer Richtung mehr Raum in der Kernzone als axiale Luftspaltkonstruktionen. Daraus resultieren zwangsläufig größere Spuleninnendurchmesser mit geringeren Leistungsdichten und Wirkungsgraden für radiale Luftspaltkonstruktionen. Deshalb kann ein radialer Ringluftspalt in der Kernzone eines derartigen Energiewandlers für eine Miniaturisierung als ungünstig angesehen werden. Ein axialer Ringluftspalt in der Kernzone nach Anspruch 1 ist konstruktiv wie funktional eher mit einem flach gestalteten Energiewandler kompatibel als radiale Ringluftspalte, so dass die Vorteile einer flachen Bauform bezüglich einer hohen Energiewandlungsdichte noch besser ausgeschöpft werden können. Axiale Ringluftspalte für Energiewandler mit Ringluftspalt in der Kernzone oder die konstruktive Auslagerung von Luftspalten aus der Kernzone erlauben kompaktere Konstruktionen mit geringen Kernzonendurchmessern und lassen hohe Leistungsdichten auch bei Miniaturisierung der Energiewandler zu. Dies ist ein besonderer Vorteil gegenüber Energiewandlern mit radialem Ringluftspalt, wie etwa in dem in DE 25 60 231 C1 beschriebenen Tachogenerator. Bei letzterem stehen eher Meßaufgaben im Vordergrund, wo hohe Leistungsdichten von untergeordneter Bedeutung sind und die Lagerung der Tachogeneratoranordnung über die Motorwelle erfolgt.

35 Mit einer Anordnung entsprechend Anspruch 3 kann eine weitere hohe Leistungssteigerung erreicht werden. Magnetfluss- und Lagerfunktion können günstig kombiniert werden, indem zwischen den weichmagnetischen Teilen des

Rotors und dem feststehenden, die Lagerfunktion für den Rotor aufweisenden Magnetflusselement eine Hartstoffschicht angeordnet wird. Von besonderem Vorteil ist eine Hartstoffgleitschicht im Bereich des axialen Ringluftspaltes. Da Hartstoffgleitschichten nur Schichtdicken von wenigen Mikrometern oder darunter aufweisen, sind sehr enge Ringluftspalte realisierbar und die axial-radial orientierten Magnetkreise werden an dieser Stelle praktisch kaum geschwächt. Die Hartstoffgleitschicht kann auf der Rotorseite, auf dem feststehenden Magnetflusselement oder auf beiden Lagerseiten aufgebracht werden. Als Hartstoffgleitschicht ist Kohlenstoff in Form von Diamant oder diamantähnlicher Gitterstrukturen, etwa mittels eines PVD-Verfahrens aus der Gasphase abgeschieden, besonders vorteilhaft, da hier neben einem niedrigen Reibungskoeffizienten auch eine geringe Verschleißrate und eine hohe Temperaturbeständigkeit des Lagers erreicht werden. Auch eine Eisenhartstoffschicht, etwa durch Einlagerung von Fremdatomen oder einer anderen Veränderung des atomaren Eisengitters, ist wegen des resultierenden Null-Luftspaltes sehr vorteilhaft. Insgesamt bewirkt eine Lagergestaltung entsprechend Anspruch 3 eine sehr hohe Effizienzsteigerung gegenüber anderen, mehr luftspaltbildenden Lösungen. Weiterhin ergeben sich große Vorteile für die Einfachheit, Robustheit und Zuverlässigkeit der Energiewandler sowie für die Realisierung kleiner Baugrößen.

Ein weiterer Effizienzgewinn kann durch eine Gestaltung der Flachspulen entsprechend Anspruch 4 erzielt werden. Mit Ein-Ebenen-Spiralspulen unter Verwendung von Metallband als Leitungsmaterial kann - bei Flachspulen technologisch besonders effektiv - ein sehr hoher Füllungsgrad der Spulenwicklung erreicht werden. Entsprechend gewickelte Flachspulen weisen gegenüber aus Runddraht gewickelten Spulen eine höhere mechanische Stabilität auf, sind

montagefreundlicher, besitzen eine höhere Induktivität bei geringerem ohmschen Widerstand, und es sind damit pro Volumeneinheit höhere Energieumsätze bei geringeren Verlusten realisierbar.

5

Energiewandler nach Anspruch 1 bis 4 lassen sich konstruktiv einfach und mit Vorteil erweitern oder kombinieren. So kann nach Anspruch 5 ein Rotor bzw. bestimmte Rotorbereiche von zwei Energiewandlereinheiten nach Anspruch 1 bis 4 genutzt werden. Vorteile können sich dabei etwa hinsichtlich Materialeinsparung, Kompensation von magnetischen Kräften oder Reduzierung von Lagerkräften sowie der Verbesserung der Funktionsweise des Energiewandlers ergeben.

10

15

20

25

30

35

Energiewandler nach Anspruch 6 lassen sich bei entsprechender Gestaltung der Zahnelemente als selbstanlaufende Synchronmotoren betreiben. Die Vorzugsrichtung kann zum Beispiel durch Schrägen oder sichelförmige Fortsätze an den Zahnelementköpfen festgelegt werden. Bei entsprechender Gestaltung des Energiewandlers und Ansteuerung der Flachspule ist eine Motorfunktion mit einem Energiewandler nach Anspruch 6 realisierbar, jedoch ist die Verwendung zweier über die Rotoren gekoppelter Energiewandler von großem Vorteil, um Laufrichtung, Anlauf- und Laufeigenschaften besser bzw. einfacher steuern zu können. Eine solche Kopplung kann sowohl durch axiale Verbindung von zwei Energiewandlern entsprechend Anspruch 5 oder durch eine Zwangskopplung, etwa über ein Getriebe, nach Anspruch 7 realisiert werden. Schließlich ist über eine Kopplung von Energiewandlern das Gesamtrastmoment beeinflussbar, so dass insgesamt der Energiewandler nach den Ansprüchen 1 bis 7 ein hohes konstruktives Potential zur Reduzierung von Rastmomenten aufweist.

Energiewandler nach den Ansprüchen 1 bis 7 sind einfach, robust, zuverlässig und preiswert gestaltbar. Nahezu alle Teile eines elektromechanischen Energiewandlers nach den Ansprüchen 1 bis 7 können in den Energiewandlungsprozess eingebunden werden und feststehende Magnetflusselemente können gleichzeitig andere Funktionen, etwa Lager- oder Gehäusefunktionen übernehmen. Hierdurch und wegen der prinzipiellen Konstruktion nach Anspruch 1 weist der Energiewandler eine hohe volumenbezogene Energiewandlungsdichte auf. Der Energiewandler läßt sich mit konventionellen Fertigungstechniken herstellen und auch kleine Baugrößen lassen sich gut und mit hoher Leistungsdichte realisieren.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 Energiewandler mit axial orientierten Dauermagnetelementen
- Fig. 2 Energiewandler aus Fig. 1 entlang Schnitt A-A
- Fig. 3 Energiewandler mit radial orientierten Dauermagnetelementen
- Fig. 4 Energiewandler aus Fig. 3 entlang Schnitt B-B (Ausschnitt)
- Fig. 5 Energiewandler mit radial orientierten Dauermagnetelementen und Polschuhen
- Fig. 6 Energiewandler aus Fig. 5 entlang Schnitt C-C (Ausschnitt)
- Fig. 7 Energiewandler mit gebogenen Dauermagnetelementen
- Fig. 8 Energiewandler, über einen gemeinsamen Rotor gekoppelt
- Fig. 9 Energiewandler mit korb förmigem Zahnelementrad
- Fig. 10 Energiewandler, mit Zwangslauf gekoppelt

Fig. 11 Energiewandler aus Fig. 3 mit sichelförmigen Fortsätzen an den Zahnelementen in der Aufsicht (Ausschnitt)

Bei dem in Fig. 1 dargestellten elektromechanische Energiewandler nach Anspruch 1 ist in einem zentralen Lochzapfen 1 einer Zapfenscheibe 2 eine Rotorwelle 3 aus poliertem Saphir frei rotierbar um ihre Rotationsachse 4 angeordnet. Mit der Rotorwelle 3 fest verbunden ist eine Rotorscheibe 5 aus Siliziumeisen, auf deren Außenumfang ein Zahnelementring 6 fest aufgezogen ist. Der Zahnelementring 6 besteht aus einem Metall-Metall-Verbund von jeweils vier Ringsektoren Siliziumeisen, und Messing. Die Eisenringsektoren bilden die Zahnelemente 7 und die Messingringsektoren vier Zahnelementlücken 8 entsprechend Anspruch 1. Da zwischen der weichmagnetischen Rotorscheibe 5 und den weichmagnetischen Zahnelementen 7 des Zahnelementringes 6 keine Lücke besteht, stellen aus konstruktiver wie aus magnetischer Sicht Rotorscheibe 5 und Zahnelementring 6 eine Einheit, ein Zahnelementrad 9, dar. Zahnelementrad 9 und Rotorwelle 3 bilden einen Rotor 10. Direkt um den Lochzapfen 1 - zwischen dem scheibenförmigen Teil der Zapfenscheibe 2 und dem Zahnelementrad 9 - ist eine Flachspule 11 gelegt. Die Kernzone 12 des Energiewandlers ist durch zwei gestrichelte Begrenzungslinien dargestellt. Sie ist definitionsgemäß entsprechend Anspruch 1 durch den Innendurchmesser der Flachspule 11 begrenzt. Sehr eng um diese Flachspule 11 - ebenfalls noch zwischen dem scheibenförmigen Teil der Zapfenscheibe 2 und dem Zahnelementrad 9 - ist ein Magnetring 13 aus kunststoffgebundenen Neodym-Eisen-Bor-Magnetmaterial angeordnet. Der Magnetring 13 ist axial-alternierend magnetisiert und kann daher praktisch aus acht einzelnen Dauermagnetelementen 14 bestehend betrachtet werden. Flachspule 11 und Magnetring 13 sind fest auf der Zapfenscheibe 2 aufgeklebt. Auf dem Außenumfang der

Zapfenscheibe 2 ist eine Gehäusekapsel 15 fest aufgesteckt und verklebt, welche die Gesamtanordnung auch rückseitig des Zahnelementrades 9 verschließt und gegen Verschmutzung schützt. Die Gehäusekapsel 15 übernimmt im Mittelpunkt ihrer stirnseitigen Innenoberfläche gleichzeitig auch die Funktion eines zusätzlichen axialen Lagers für die Rotorwelle 3. Innerhalb des Lochzapfens 1 ist ein Gleitlager 16, bestehend aus Sinterbronze, angeordnet, das als radiales und als axiales Lager fungiert. Alle Teile sind rotationssymmetrisch um die Rotationsachse 4 angeordnet, die gleichzeitig für den gesamten elektromechanischen Energiewandler eine Systemachse darstellt. Das überstehende magnetisch nicht aktive Gleitlager 16 bewirkt zwischen Rotorscheibe 5 und Lochzapfen 1 der Zapfenscheibe 2 einen stirnseitigen axialen Ringluftspalt 17 von etwa 0,05 mm, über den in der Kernzone 12 praktisch der gesamte magnetische Fluss erfolgt. Durch die Trennung der Lager- und Magnetflussfunktion in der Kernzone 12 kann einerseits ein zuverlässiges Lager und andererseits ein definierter und reproduzierbarer Magnetfluss in der Kernzone 12 gewährleistet werden. Ein weiterer 0,1 mm starker Ringluftspalt 18 befindet sich zwischen den Zahnelementen 7 und dem Magnetring 13. Zapfenscheibe 2, Dauermagnetelemente 14, Zahnelementrad 9 sowie die Ringluftspalte 17 und 18 bilden bei frontaler Position von Zahnelementen 7 und Dauermagnetelementen 14 die axial-radial orientierten Magnetkreise 19, in denen die magnetischen Feldlinien 20 axial-radial die Flachspule 11 sehr eng um- und durchfluten. Innerhalb der axial-radial orientierten Magnetkreise 19 stellen die Ringluftspalte 17 und 18 magnetische Widerstände dar, was jedoch wegen der Gewährleistung der Funktion des elektromagnetischen Wandlers nach Anspruch 1 unvermeidlich ist. Bei Rotation des Rotors 10 passieren alle Zahnelemente 7 gemeinsam die Dauermagnetelemente 14 einer Polorientierung und danach die

der entgegengesetzten Polorientierung. In Fig. 1 ist der Fall veranschaulicht, dass sich Dauermagnetelemente 14 und Zahnelemente 7 frontal gegenüberstehen. Der bevorzugte Verlauf der magnetischen Feldlinien 20 erfolgt hier über die langen Wege entlang der axial-radial orientierten Magnetkreise 19 mit weitestgehend separaten axial-radialen Feldlinienverläufen für jedes Dauermagnetelement 14 um und durch die Flachspule 11.

Fig. 2 stellt in der Aufsicht den selben Energiewandler wie in Fig. 1 dar, jedoch ist hier die Zwischenposition von Zahnelementen 7 zu den Dauermagnetelementen 14 gezeigt, in der sich die magnetischen Feldlinien 20 von den Dauermagnetelementen 14 bevorzugt auf kurzem Wege über die Zahnelemente 7 zum jeweils benachbarten Dauermagnetelement 14 und von dort über ein rückseitiges Magnetflusselement 21 - hier die Zapfenscheibe 2 - zurück zum ursprünglichen Dauermagnetelement 14 schließen. Der mechanische Energieaustausch zur Umgebung erfolgt über das Ritzel 22 und der elektrische Energieaustausch über zwei Spulendrahtenden 23.

Während in den Energiewandlern der Fig. 1 und Fig. 2 die magnetischen Feldlinien 20 den Ringluftspalt 18 zwischen Magnetring 13 und Zahnelementring 6 in axialer Richtung durchqueren, ist in Fig. 3 ein Energiewandler nach Anspruch 1 gezeigt, bei dem die Dauermagnetelemente 14 so angeordnet sind, dass aus ihnen die magnetischen Feldlinien 20 in radialer Richtung austreten und so auch über den Ringluftspalt 18 den Zahnelementring 6 erreichen. Der Magnetring 13 ist aus einzelnen Dauermagnetelementen 14 in Gestalt kleiner Quader zusammengesetzt, die mit einer Lücke von einer halben Quaderbreite direkt auf die Innenwandung einer hier topfförmig ausgebildeten Zapfenscheibe 2 aufgeklebt sind. Die Dauermagnetelemente 14 bestehen aus Samarium-Cobalt-Quadern und stellen somit Einzelmagnete 24

dar. In der Anordnung der Fig. 3 sind die Zahnelementlücken
direkt in die weichmagnetische Rotorscheibe 5 hineingefräst
- sie bestehen somit aus Luft. Gleichzeitig werden
hierdurch die Zahnelemente 7 geformt und Zahnelementring 6
sowie Rotorscheibe 5 ergeben damit ein einziges Bauelement.
Entsprechend Anspruch 3 befindet sich auf dem Lochzapfen 1
der Zapfenscheibe 2 eine - wenige Mikrometer dicke -
Hartstoffgleitschicht 25. Diese ist sowohl beidseitig auf
den Stirnseiten als auch innerhalb des Lochzapfens 1
aufgetragen. Der Abstand zwischen dem Zahnelementrad 9 und
dem Ritzel 22, die beide fest auf die Rotorwelle 3
aufgezogenen sind, ist nur 5 μm größer als die Länge des
Lochzapfens 1, einschließlich der Hartstoffbeschichtung.
Gleiche Abstände bestehen zwischen der Rotorwelle 3 und dem
Innenloches im Lagerzapfen 1. Hierdurch entsteht einerseits
ein sehr stabiles axiales wie auch radiales Gleitlager,
andererseits wird ein axialer Ringluftspalt 17 von weniger
als 10 μm realisiert, so dass die axial-radial orientierten
Magnetkreise 19 an dieser Stelle nur unwesentlich durch
einen sehr geringen magnetischen Widerstand geschwächt
werden. Die in Fig. 3 vorgestellte Anordnung hat den
Vorteil, dass die Flachspule 11 den gesamten Bereich
zwischen Zahnelementrad 9 und Zapfenscheibe 2 effektiv
ausfüllen kann und der Ringluftspalt 18 zwischen den
Dauermagnetelementen 14 und den Zahnelementen 7 wegen
dessen radialer Position konstruktiv und
fertigungstechnisch sehr schmal gehalten werden kann.
Ebenso kann die Kernzone 12 einen sehr kleinen Durchmesser
aufweisen, da der Lochzapfen 1 sehr effizient sowohl als
Magnetflusselement 21 als auch als Gleitlagerkörper genutzt
wird. Da der Lochzapfen 1 den dreifachen Durchmesser der
Rotorwelle 3 besitzt, was einem neunfachen
Flächenverhältnis entspricht, wäre auch hier bei Verwendung
einer weichmagnetischen Rotorwelle 3 ein radialer Luftspalt
in der Kernzone 12 von geringer Bedeutung für die Führung
des magnetischen Flusses. Zur Erhöhung der Induktivität

besteht in der Anordnung der Fig. 3 die Flachspule 11 entsprechend Anspruch 4 aus einer Ein-Ebenen-Spiralspule, bei der als Spulenmaterial lackbeschichtetes Metallband der Abmessungen 1,2 x 0,02 mm verwendet wird.

5 In Fig. 4 ist die Anordnung der Fig. 3 in der Aufsicht und wie in Fig. 2 die Zwischenposition von Zahnelementen 7 und Dauermagnetelementen 14 dargestellt. Die Energiewandler der Fig. 1-4 haben einen Durchmesser von 12 mm und sind 3 mm hoch.

10 Fig. 5 zeigt einen Energiewandler mit analoger magnetischer Polorientierung wie in den Fig. 3 und 4, jedoch befinden sich hier beide funktional notwendigen Ringspalte 16
15 außerhalb der Kernzone 12 und keiner in ihr. Der Magnetring 13 besteht hier aus einem Verbund von Messingsegmenten 26 und geteilten Weicheisensegmenten, in dem zwischen den Weicheisensegmenten Einzelmagneten 24 angeordnet sind. Die Weicheisensegmente stellen für die Einzelmagnete 24
20 Polschuhe 27 dar und bilden mit ihnen gemeinsam die Dauermagnetelemente 14. Der Zahnelementring 6 besteht aus einem Verbund von Zahnelementen 7 aus Weicheisen und Zahnlücken 8 aus Messing. Dieser Zahnelementring 6 ist auf einer Rotorscheibe 5 aus Messing zu einem topfförmigen
25 Verbund aufgeschweißt. Die Flachspule 11 ist fast vollständig von einem weichmagnetischen, zweigeteilten Spulenkern 28, der ein feststehendes Magnetflusselement 21 darstellt, umgeben. In dessen Öffnung befinden sich der Magnetring 13 und der von oben eingreifende
30 Zahnelementring 6. In dieser Anordnung befinden sich die beiden radialen Ringluftspalte 16 zwischen den Zahnelementen 7 und dem Magnetring 13 sowie zwischen den Zahnelementen 7 und dem Spulenkern 28. Da sowohl Spulenkern 28, Zahnelementring 6 als auch Magnetring 13 hier als
35 Drehteile gefertigt werden können, lassen sich sehr enge, radiale Ringluftspalte von wenigen µm realisieren. Dies ist

in der Anordnung der Fig. 3 und 4 wegen der planaren Gestalt der Einzelmagnete 24 nicht möglich.

Fig. 6 zeigt die Anordnung der Fig. 5 in der Aufsicht und in der Zwischenposition, bei denen sich die magnetischen Feldlinien 20 auf kurzem Wege schließen.

In Fig. 7 ist eine weitere Anordnung dargestellt, bei der sich nur Ringspalte 16 außerhalb der Kernzone 12 befinden. Desweiteren werden hier gebogene Dauermagnetelemente 14 verwendet, die über ihren Bogen magnetisiert sind und mit alternierender Polungsfolge zu einem Magnetring 13 zusammengesetzt sind. Die Magnetisierung über den Bogen bewirkt, dass in axial unterschiedlicher Position in radialen Richtung hin zum Zentrums des Energiewandlers sowohl einen magnetischen Nordpol als auch einen magnetischen Südpol zeigt. Zwei weichmagnetische Rotorscheiben 5 sind auf Stoß auf eine Rotorwelle 3 geschoben und bilden mit dieser den Rotor 10. Wie in den Fig. 3 und 4 ist aus den Rotorscheiben 5 an deren Außenumfang jeweils ein Zahnelementring 6 herausgearbeitet. Innerhalb dieses Rotors 10 befindet sich ein Freiraum für die an dem Magnetring 13 festgeklebte, freitragende Flachspule 11. Mit den gebogenen Dauermagnetelementen 14 und den Rotorscheiben 5 ergeben sich die axial-radial orientierten Magnetkreise 19, die entsprechend Anspruch 1 die Flachspule 11 durch deren Spulenzentrum umhüllen. In der Anordnung der Fig. 7 lassen sich ebenfalls sehr kleine radiale Ringluftspalte 16 einstellen.

Fig. 8 zeigt eine Anordnung entsprechend Anspruch 5, bei der zwei Energiewandler analog zu Fig. 1 und 2, über einen gemeinsamen Rotor 10 mit einem gemeinsamen Zahnelementring 6 und einer gemeinsamen Rotorscheibe 5 verfügen. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass insbesondere axiale Kräfte kompensiert werden können.

Der Energiewandler in Fig. 9 entspricht dem Energiewandler in Fig. 3, außer, dass hier die Zahnelemente 7 gegenüber der Rotorscheibe 5 abgewinkelt sind. Das Zahnelementrad 9 erhält so eine korbformige Gestalt und Dauermagnetelemente 14 sowie Zahnelemente 7 können sich am Ringluftspalt 18 über eine größere Fläche gegenüber stehen. Mit einer solchen Anordnung ist auch eine hohe Energiewandlungsdichte bei Verwendung von Dauermagnetmaterialien mit einer geringen Remanenzinduktion, etwa kunststoffgebundenen Dauermagneten, möglich.

In Fig. 10 ist ein Zwangslauf entsprechend Anspruch 5 zwischen zwei Energiewandlern 29 der in den Fig. 3 und 4 gezeigten Variante über ein Kopplungszahnrad 30 dargestellt. Die Drehbewegung und damit die mechanische Energie wird vom Kopplungszahnrad 30 über eine Abtriebswelle 31 nach außen übertragen. Beide Energiewandler werden von einem gemeinsamen Gehäuse 32 aufgenommen und die Abtriebswelle 31 darin gelagert. Indem sich in dem einen Energiewandler 29 die Zahnelemente 7 in einer Frontalposition zu den Dauermagnetelementen 14 befinden, während in dem anderen Energiewandler 29 Zahnelemente 7 und Dauermagnetelemente 14 gerade eine Zwischenposition einnehmen, kann hier durch abwechselnde Bestromung der Flachspulen 11 der Energiewandler 29 eine Motorfunktion mit gesteuerter Drehrichtung realisiert werden.

In Fig. 11 ist für die in der Fig. 3 dargestellte Variante eine beispielhafte Gestaltungsmöglichkeit der Zahnelemente 7 für die Festlegung der Anlaufrichtung des Energiewandlers im Motorbetrieb gezeigt. Der sichelförmige Fortsatz 33 am Kopf der Zahnelemente 7 bewirkt eine Anlauforientierung infolge unterschiedlicher magnetischer Sättigungszustände im sichelförmigen Fortsatz 33 bei der Bestromung der Flachspule 11. Alternativ dazu kann die Anlaufrichtung auch

durch unterschiedlich geformte, asymmetrische Fasen, Stufen oder Abschnitte in Form von Spiralausschnitten nach dem gleichen Wirkprinzip festgelegt werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Lochzapfen
- 2 Zapfenscheibe
- 3 Rotorwelle
- 4 Rotationsachse
- 5 Rotorscheibe
- 6 Zahnelementring
- 7 Zahnelement
- 8 Zahnelementlücke
- 9 Zahnelementrad
- 10 Rotor
- 11 Flachspule
- 12 Kernzone
- 13 Magnetring
- 14 Dauermagnetelement
- 15 Gehäusekapsel
- 16 Gleitlager
- 17 Ringluftspalt (in Kernzone)
- 18 Ringluftspalt (peripher)
- 19 axial-radial orientierter Magnetkreis
- 20 magnetische Feldlinien
- 21 Magnetflusselement
- 22 Ritzel
- 23 Spulendrahtenden
- 24 Einzelmagnet
- 25 Hartstoffgleitschicht
- 26 Messingsegment
- 27 Polschuh
- 28 Spulenkern
- 29 Energiewandler
- 30 Kopplungszahnrad
- 31 Abtriebswelle
- 32 Gehäuse
- 33 sichelförmiger Fortsatz

Patentansprüche

1. Elektromechanischer Energiewandler mit Rotor (10), bei dem konzentrisch um die Rotationsachse (4) des Rotors (10)
- eine Flachspule (11) feststehend angeordnet ist,
 - der innerhalb der axialen Projektionszone des Flachspuleninnendurchmessers liegende Bereich als Kernzone (12) definiert ist,
 - Dauermagnetelemente (14) mit alternierender Polung in axialer, radialer oder axial-radialer Richtung feststehend und rotationssymmetrisch angeordnet einen Magnetring (13) bilden,
 - Magnetflusselemente (21) als Zahnelemente (7) ausgebildet sind,
 - die Zahnelemente rotationssymmetrisch angeordnet und voneinander durch Zahnelementlücken (8) getrennt einen weichmagnetischen Zahnelementring (6) bilden,
 - die Anzahl der Zahnelemente (7) und der Polpaare des Magnetrings (13) gleich groß ist,
 - die Zahnelemente (7) und Dauermagnetelemente (14) gleichmäßig am Umfang verteilt sind,
 - der Zahnelementring (6) Bestandteil des Rotors (10) ist,
 - außerhalb der Kernzone (12) mindestens ein Ringluftspalt (18) zwischen Magnetring (13) und Zahnelementen (7) existiert,
 - ein innerhalb der Kernzone (12) befindlicher Ringluftspalt (17) axial zwischen Rotor (10) und einem feststehenden Magnetflusselement (21) angeordnet ist und
 - Dauermagnetelemente (14), Zahnelemente (7) sowie weitere Magnetflusselemente (21) und mindestens zwei Ringluftspalte (17,18) axial-radial orientierte Magnetkreise (19) bilden, die axial-radial um die Flachspule (11) durch deren Spulenzentrum verlaufen und die Flachspule (11) umhüllen.

2. Elektromechanischer Energiewandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein feststehendes weichmagnetischen Magnetflusselement (21) eine Lagerfunktion für den Rotor (10) aufweist.
3. Elektromechanischer Energiewandler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich zwischen dem feststehenden weichmagnetischen Magnetflusselement (21) mit Lagerfunktion und dem Rotor (10) eine Hartstoffgleitschicht (25) befindet.
4. Elektromechanischer Energiewandler nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Flachspule (11) aus einer oder aus mehreren Ein-Ebenen-Spiralspulen mit Metallband als Leitungsmaterial besteht.
5. Elektromechanischer Energiewandler nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein gemeinsamer Rotor (10) für zwei axial übereinander liegende Energiewandler (29) verwendet wird.
6. Elektromechanischer Energiewandler nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zahnelemente (7) durch die geometrische Gestaltung für eine Vorzugsdrehrichtung des Energiewandlers (29) ausgelegt sind.
7. Elektromechanischer Energiewandler nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (10) des elektromechanischen Energiewandlers (29) und der Rotor (10) eines weiteren elektromechanischen Energiewandlers (29) nach einem der vorangegangenen Ansprüche über ein Kopplungszahnrad (30) oder einen andersartigen Zwangslauf gekoppelt sind.

8. Elektromechanischer Energiewandler nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zahnelemente eine gekrümmte Form aufweisen.

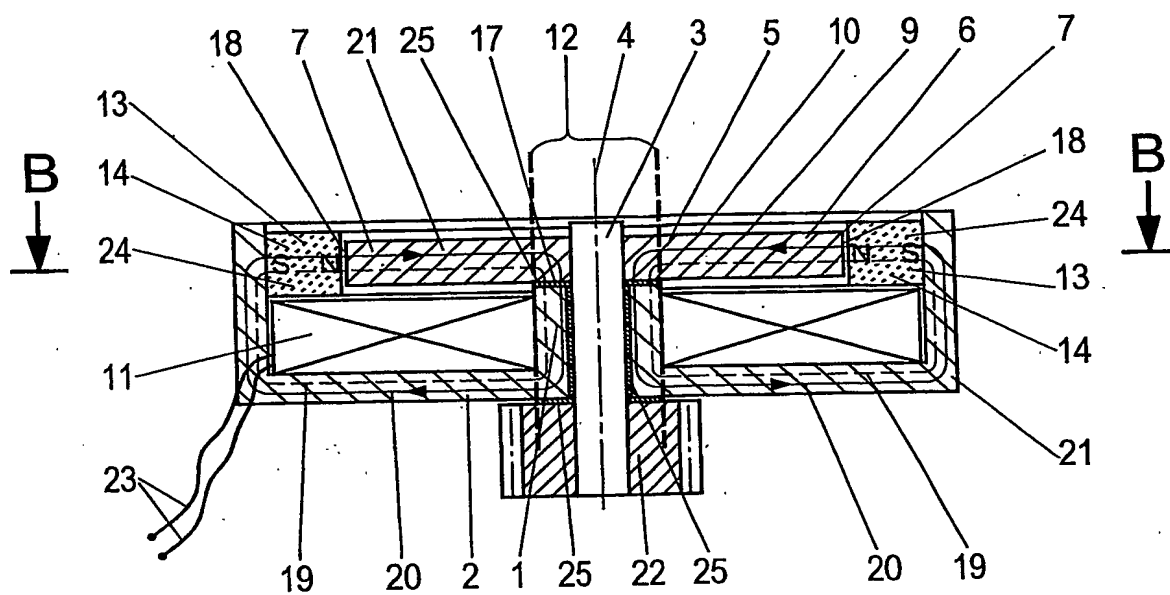


Fig. 3

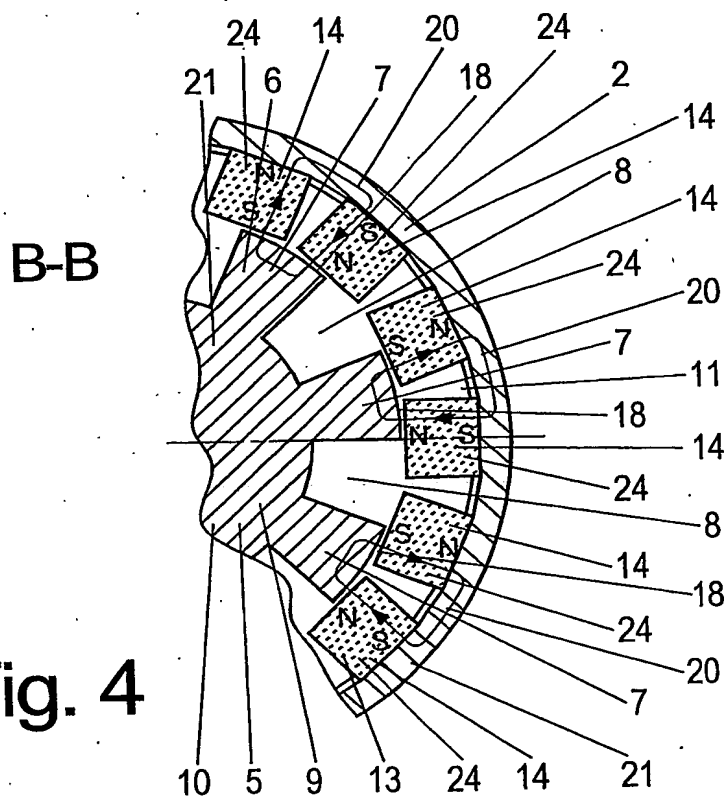


Fig. 4

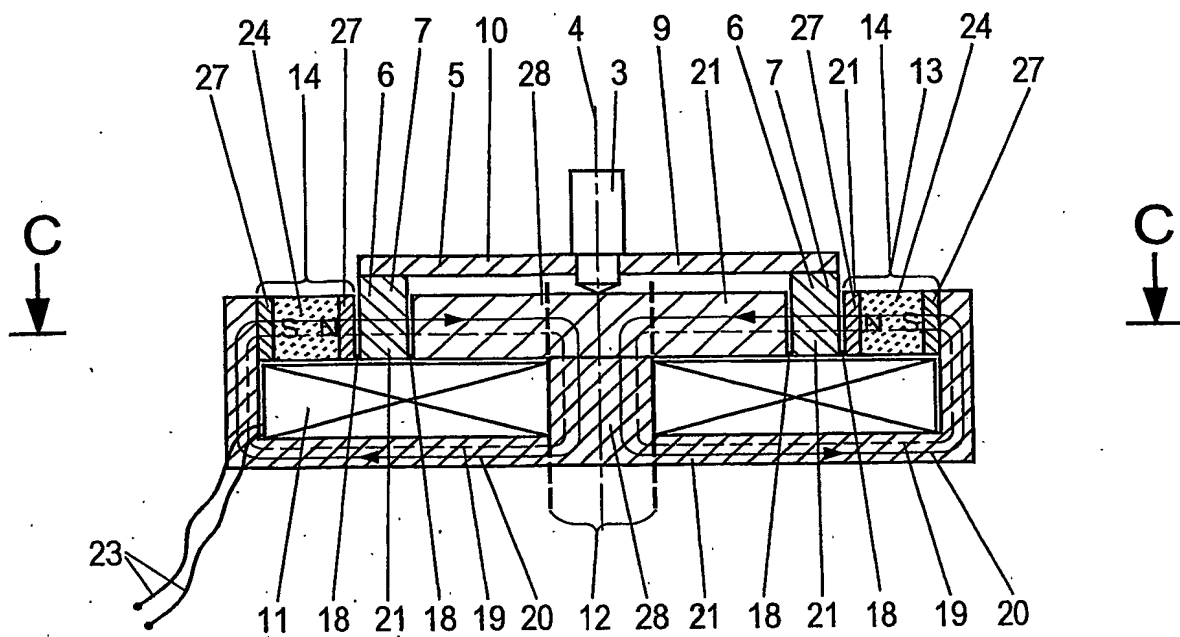


Fig. 5

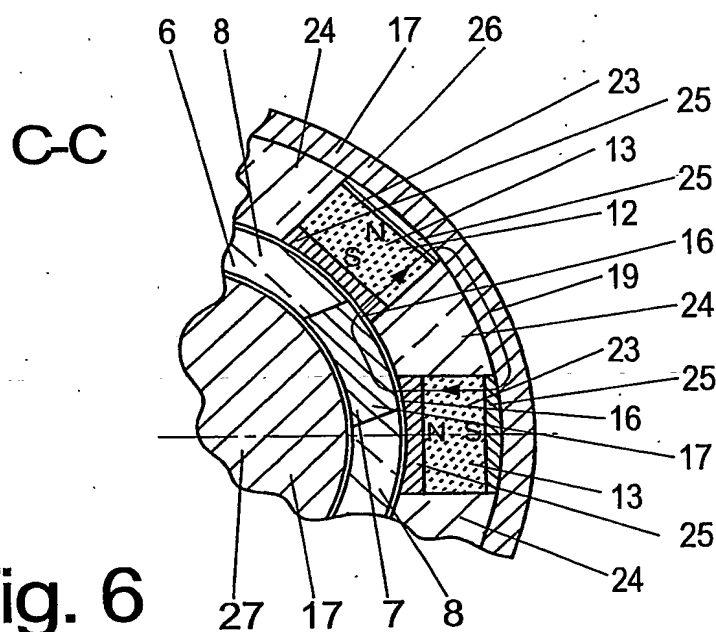


Fig. 6

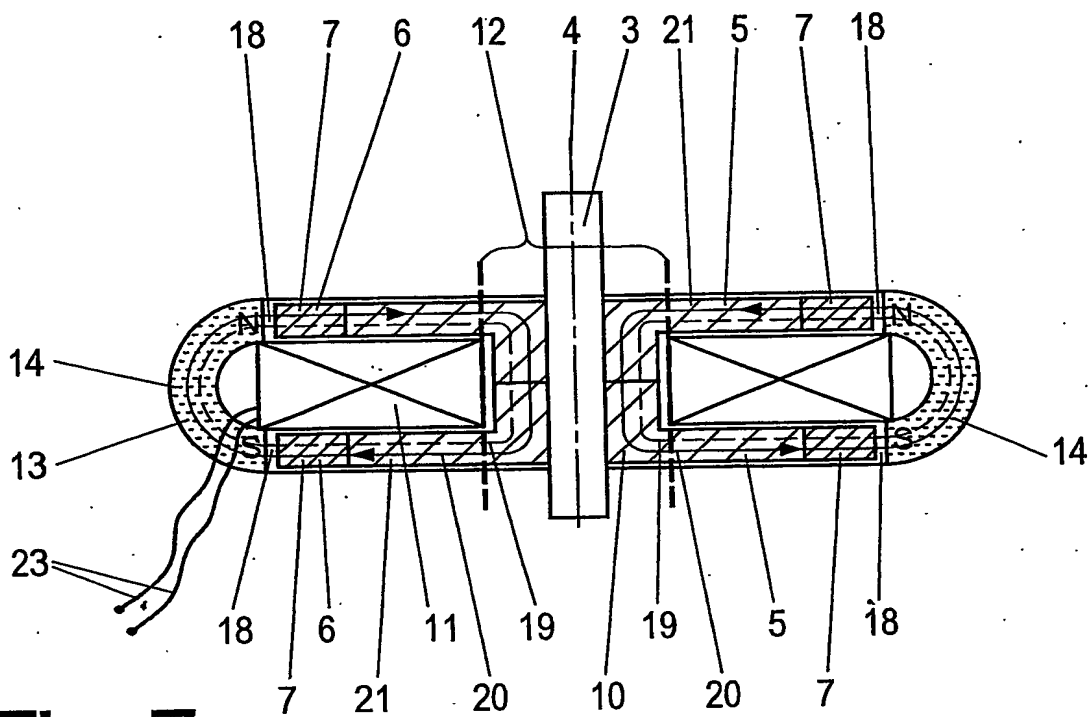


Fig. 7

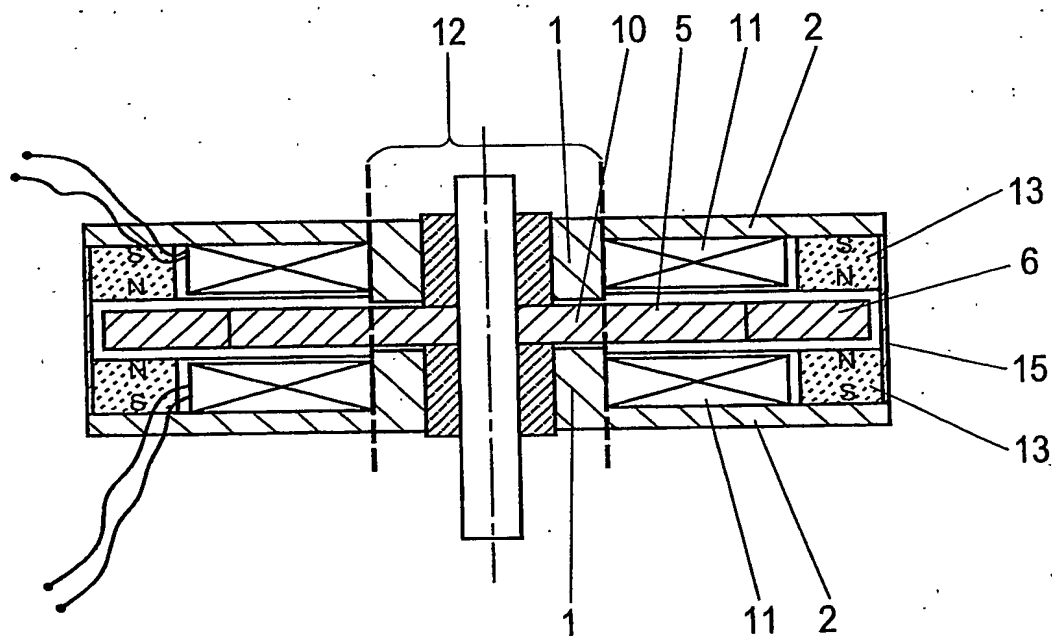


Fig. 8

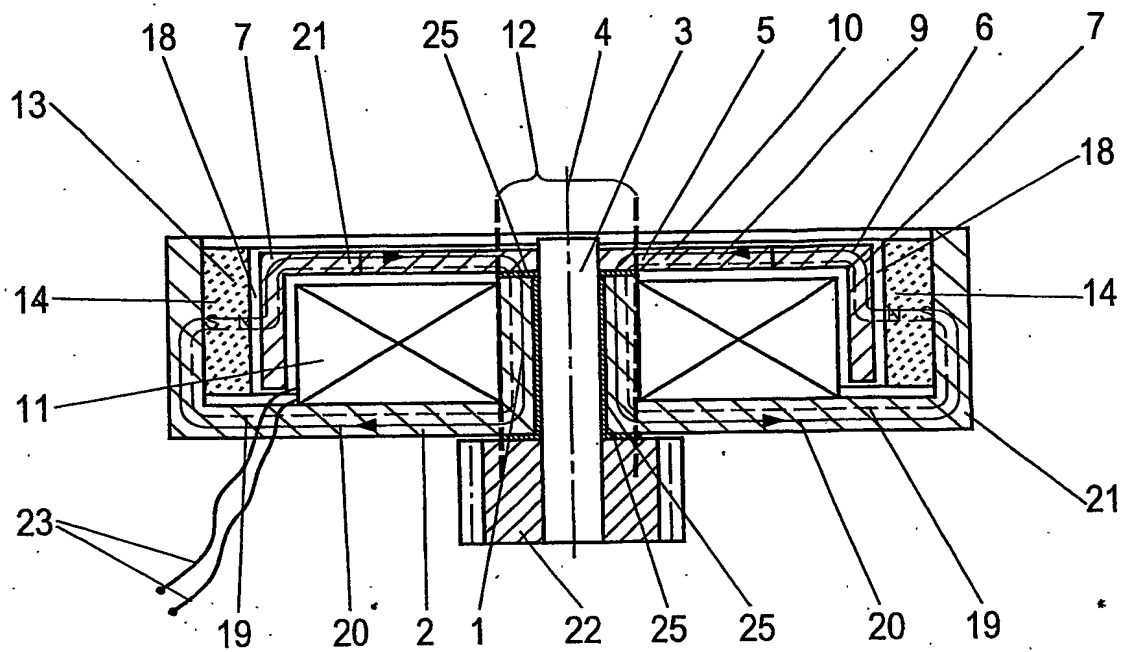


Fig. 9

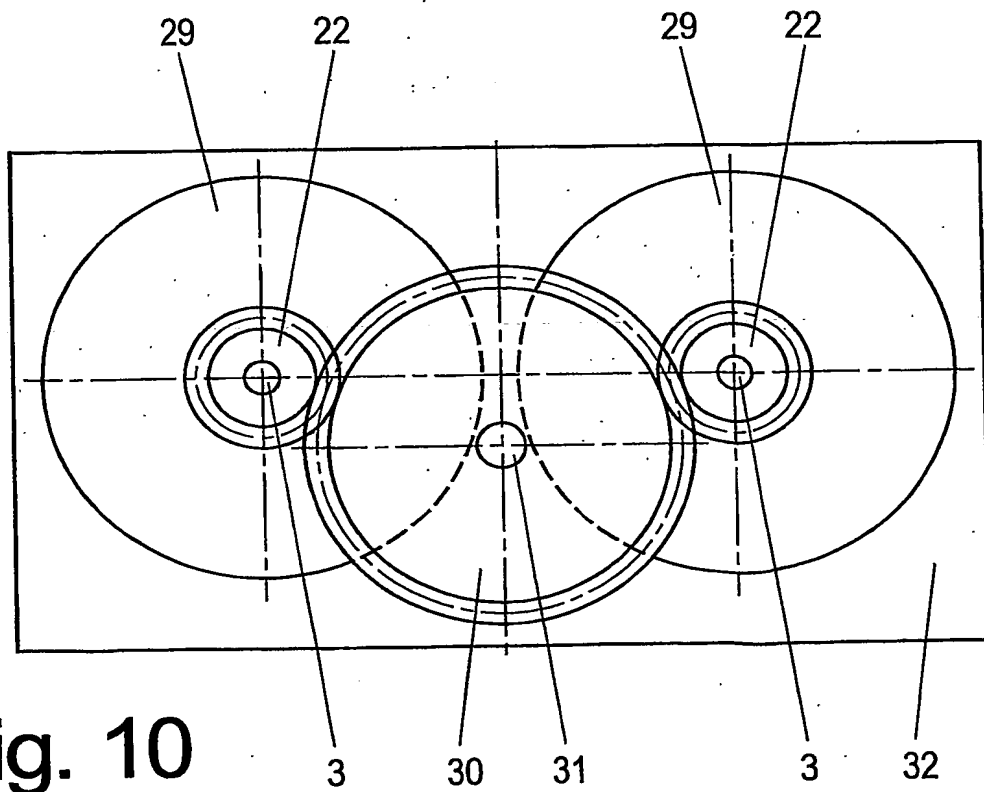
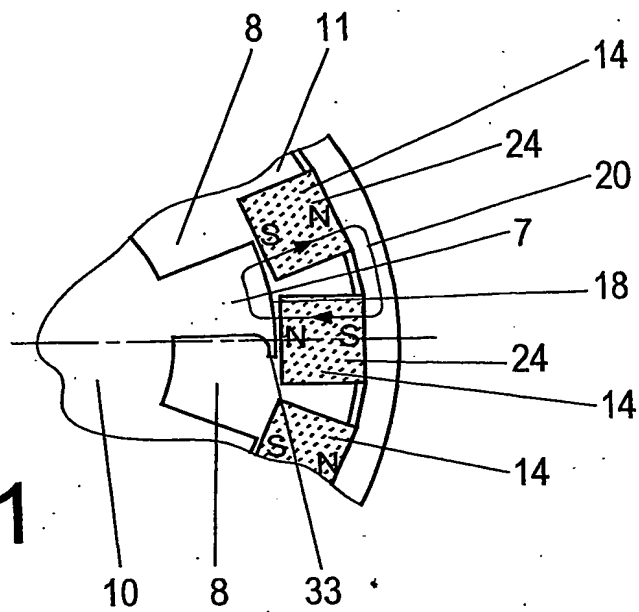


Fig. 10

Fig. 11



Zusammenfassung

1. Elektromechanischer Energiewandler

5 2.1. Die Miniaturisierung von elektrodynamischen Wandlern verursacht eine überproportionale Abnahme der Energiewandlungsdichte. Durch die besondere funktionelle Anordnung der Elemente im Energiewandler ist es möglich, 10 nahezu das gesamte Volumen in den Energiewandlungsprozess einzubeziehen. Flusskonzentration und Mehrfachfunktionen verschiedener Bestandteile ermöglichen eine Erhöhung der Energiewandlungsdichte gegenüber bisherigen 15 miniaturisierbaren Wandlern.

2.2. Durch Rotation des Zahnelementrades (9) wird ein wechselnder magnetischer Fluss von den Dauermagnetelementen (14) des alternierend axial polarisierten Magnetringes (13) über verschiedene Magnetflusselemente (21) durch den Lochzapfen (1) geleitet. Axial-radial orientierte 20 Magnetkreise (19) umhüllen dabei eine auf dem Lochzapfen (1) sitzende Flachspule (11) und üben dort eine Induktionswirkung aus.

2.3. Der vorgeschlagene Energiewandler weist einen einfachen, robusten Aufbau sowie eine hohe volumenbezogene Energiewandlungsdichte auf und lässt sich mit 25 konventionellen Fertigungstechniken herstellen. Auch sehr kleine Baugrößen lassen sich mit hoher Leistungsdichte realisieren.

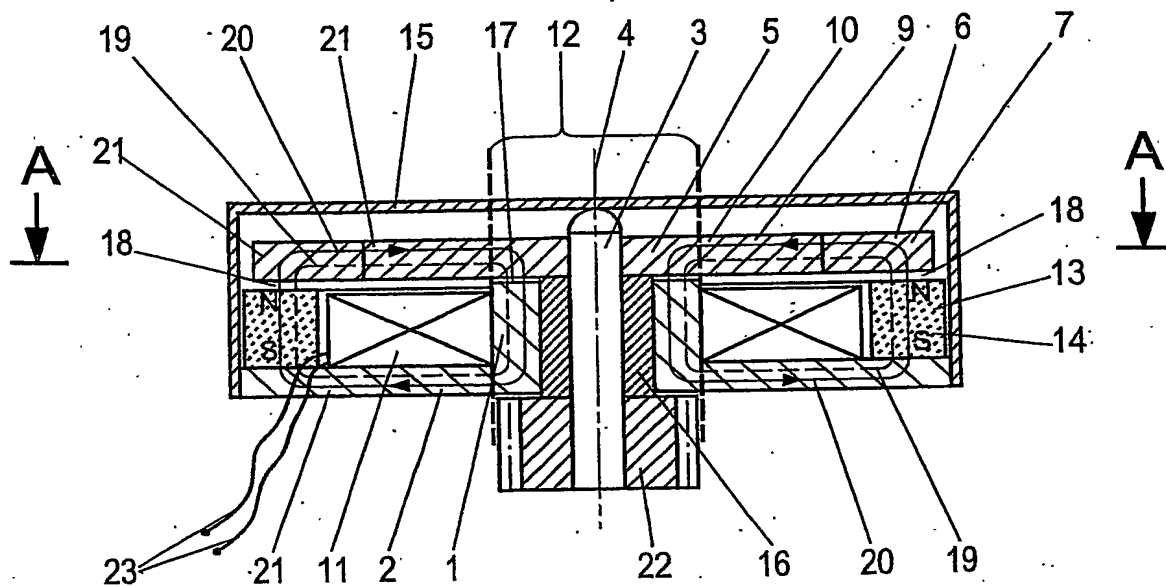


Fig. 1